EVALUASI KIENRJA SIMPANG TIGA BERSINYAL DAN DAMPAK TERHADAP BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN (BOK)

Sheila Nabila Alessandra Brito Lui[1], Eding Iskak Imananto[2], dan Annur Ma'aruf[3]

[1]Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: sheilalui19@gmail.com
[2] Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: edingiskak@yahoo.com
[3] Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

The signalized three-leg intersection of Gajah Mada Street, Raya Lengkong Street, and Raya Gemekan Street, Mojokerto Regency, experiences increasing traffic volumes, resulting in congestion, delays, and increased vehicle operating costs. This study aims to evaluate the intersection performance using the Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) 2023 and Sidra Intersection 8.0 Software, determine the most effective intersection improvement alternative, analyze the relationship between delay and fuel consumption costs, and predict traffic conditions for the next five years. Primary data were obtained through traffic volume and geometric surveys of the intersection, while secondary data consisted of vehicle growth data and supporting references. The analysis of existing conditions showed a peak-hour traffic volume of 3417.25 PCU/h during 16:00–17:00 WIB, with an average delay of 124.65 sec/PCU based on PKJI 2023 and 165.1 sec/PCU based on Sidra Intersection 8.0, indicating Level of Service F. The best intersection improvement alternative was achieved by modifying the signal cycle length and phasing, resulting in a cycle length of 46 seconds. This alternative produced an average delay of 9.10 sec/PCU and improved the intersection performance to Level of Service B. Linear regression analysis showed a very strong relationship between delay and fuel consumption costs, with a correlation coefficient of 0.959. Traffic forecasting for the next five years indicates that intersection performance will deteriorate because traffic flow growth exceeds the available capacity, so the existing intersection capacity will no longer be able to accommodate the increasing traffic flow effectively, resulting in increased vehicle delay. Based on the analysis results, the selected intersection improvement alternative provides better intersection performance and can be recommended as an appropriate treatment for the study location.

Keywords: Signalized Intersection, PKJI 2023, Sidra Intersection, Vehicle Operating Cost, Level of Service

ABSTRAK

Simpang tiga bersinyal Jl. Gajah Mada – Jl. Raya Lengkong – Jl. Raya Gemekan, Kabupaten Mojokerto, mengalami peningkatan volume lalu lintas yang menyebabkan kemacetan, tundaan, serta bertambahnya biaya operasional kendaraan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan perangkat lunak Sidra Intersection 8.0, menentukan alternatif perbaikan simpang yang paling efektif, menganalisis hubungan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak, serta memprediksi kondisi lalu lintas lima tahun mendatang. Data primer diperoleh melalui survei volume lalu lintas dan geometrik simpang, sedangkan data sekunder berupa data pertumbuhan kendaraan dan referensi pendukung. Hasil analisis kondisi eksisting menunjukkan volume lalu lintas pada jam puncak 16.00–17.00 WIB sebesar 3417,25 SMP/jam, dengan tundaan rata-rata 124,65 detik/SMP berdasarkan PKJI 2023 dan 165,1 detik/SMP berdasarkan Sidra Intersection 8.0, yang menunjukkan tingkat pelayanan F. Alternatif perbaikan simpang terbaik diperoleh melalui perubahan waktu siklus dan fase pada APILL dengan waktu siklus 46 detik. Alternatif tersebut menghasilkan tundaan rata-rata 9,10 detik/SMP dan meningkatkan tingkat pelayanan simpang menjadi B. Analisis regresi linear menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara tundaan dan biaya bahan bakar dengan koefisien korelasi 0,959. Prediksi lalu lintas lima tahun mendatang menunjukkan bahwa kinerja simpang mengalami penurunan akibat pertumbuhan arus lalu lintas yang lebih besar dibandingkan kapasitas yang tersedia, sehingga kapasitas simpang yang tersedia tidak lagi mampu melayani pertumbuhan arus lalu lintas secara optimal dan menyebabkan peningkatan tundaan kendaraan. Berdasarkan hasil analisis, alternatif perbaikan simpang yang dipilih mampu memberikan kinerja simpang yang lebih baik dan dapat dijadikan rekomendasi penanganan pada lokasi penelitian.

Kata kunci: Simpang Bersinyal, PKJI 2023, Sidra Intersection, Biaya Operasional Kendaraan, Tingkat Pelayanan

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan beserta bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang di peruntukkan bagi lalu lintas. Seiring meningkatnya aktivitas ekonomi dan pembangunan, volume lalu lintas terus bertambah sehingga berpotensi menurunkan kinerja ruas jalan maupun simpang apabila kapasitas yang tersedia tidak lagi mampu mengakomodasi arus kendaraan lalu lintas maka, akan terjadi penurunan kinerja yang ditandai dengan meningkatnya panjang antrian, dan tundaan.

Salah satu lokasi yang mengalami kondisi tersebut adalah Simpang tiga bersinyal Jl. Gajah Mada – Jl. Raya Lengkong – Jl. Raya Gemekan, Kabupaten Mojokerto, yang merupakan bagian dari jalan provinsi dan memiliki fungsi strategis sebagai penghubung kawasan perdagangan, industri, permukiman, pasar, serta akses menuju Kota Surabaya.

Tingginya aktivitas lalu lintas, ditambah dengan kendaraan yang parkir di bahu jalan, aktivitas keluar-masuk kawasan sekitar, serta pelanggaran lalu lintas, menyebabkan terjadinya antrian dan tundaan yang tinggi terutama pada jam-jam puncak. Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan tingkat pelayanan simpang, peningkatan waktu tempuh, serta meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak serta Biaya Operasional Kendaraan (BOK) akibat kendaraan lebih sering berhenti, dan mengantri. Oleh karena itu, evaluasi kinerja simpang diperlukan untuk mengetahui tingkat pelayanan simpang serta menentukan alternatif perbaikan simpang yang efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang tiga bersinyal Jl. Gajah Mada – Jl. Raya Lengkong – Jl. Raya Gemekan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, perangkat lunak Sidra Intersection 8.0, dan Biaya Operasional Kendaraan (BOK). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan alternatif perbaikan simpang sehingga mampu meningkatkan kelancaran arus lalu lintas dan mengurangi biaya operasional kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini berada pada Simpang Jl. Gajah Mada – Jl. raya Lengkong – Jl. Raya Gemekan, Kec. Trowulan, Kab. Mojokerto, Prov. Jawa Tmur.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer diperoleh melalui pengamatan dan survei langsung di lokasi penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi :

1. Data volume lalu lintas
2. Data geometrik jalan
3. Data waktu siklus
4. Data panjang antrian
5. Data tundaan
6. Data derajat kejenuhan
7. Data hambatan samping

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari instansi terkait dan sumber referensi yang mendukung penelitian. Data yang digunakan meliputi :

1. Data penduduk
   - Jumlah penduduk Kab. Mojokerto menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kab. mojokerto Tahun 2024-2025
   - Peta lokasi penelitian
   - Dokumentasi lapangan
2. Data Biaya Operasional Kendaraan (BOK)
   - Daftar harga Bahan Bakar Minyak (BBM)

Langkah-Langkah Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian dilakukan melalui 4 (empat) tahap, berikut :

1. Menentukan waktu sruvei
   Survei dilakukan selama 3 (tiga) hari yaitu, Senin, Kamis, dan Sabtu.
2. Metode survei
   Survei dilakukan dalam 1 *shift* yaitu pada pagi hingga sore hari, selama 12 jam dimulai dari pukul 06.00-18.00 WIB.
3. Kebutuhan survei
   Kebutuhan yang diperlukan meliputi :
   - Alat tulis
   - Formulir survei

- *Stopwatch*
- *Traffic Counter*
- Meteran roll *(Measuring wheel)*
- Kamera HP

4. Jumlah tenaga survei
   Total tenaga survei yang dibutuhkan berjumlah 10 (sepuluh) orang.

Metode Analisa Kinerja Simpang

Analisis data dilakukan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dengan bantuan perangkat lunak Sidra Intersection 8.0.

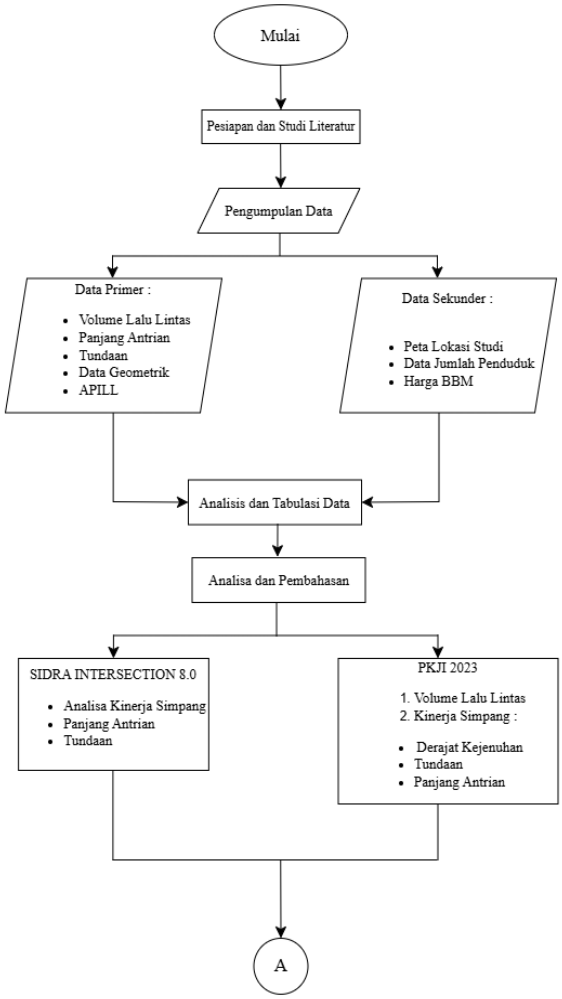
1. Analisa volume
2. Analisa antrian
3. Analisa tundaan
4. Analisa BOK
5. Analisa prediksi kinerja lalu lintas

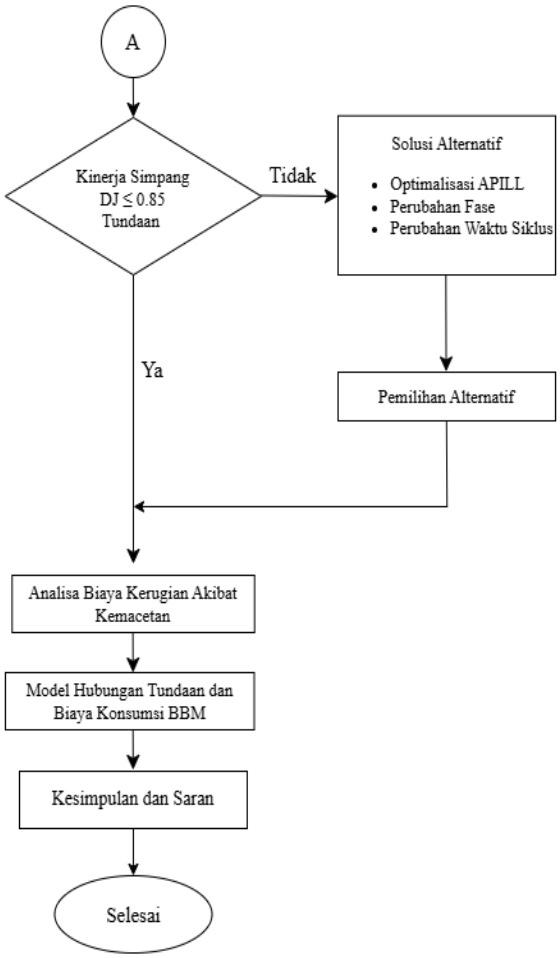
Metode Solusi Alternatif

Solusi alternatif yang dapat digunakan jika hasil analisa kondisi eksisting tidak memenuhi syarat, yaitu:

1. Pengoptimalisasi APILL pada 3 fase
2. Perubahan waktu siklus dan fase pada APILL

Diagram Alir





Gambar 2 Diagram Alir

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data Sekunder

Jumlah penduduk Kabupaten Mojokerto menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Mojokerto Tahun 2024-2025 adalah. Data ini digunakan untuk mendapatkan ukuran kota yang dapat dilihat pada PKJI 2023.

Tabel 1 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Ukuran Kota	Populasi Penduduk, Juta Jiwa	F_{UK}
Sangat Kecil	< 0,1	0,82
Kecil	0,1 – 0,5	0,88
Sedang	0,5 – 1,0	0,94
Besar	1,0 – 3,0	1,00
Sangat Besar	> 3,0	1,05

Sumber : PKJI 2023, Hal. 134

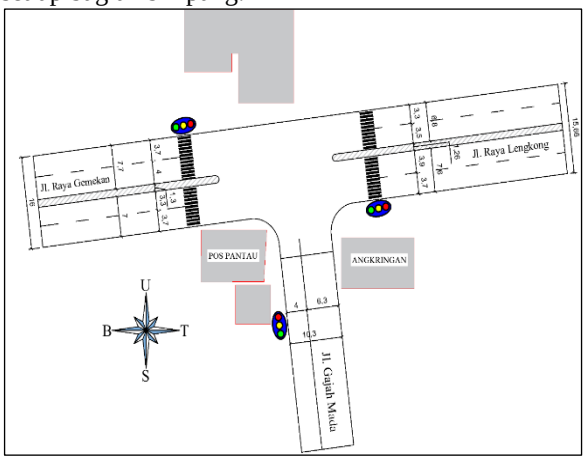
Data Primer

Hasil survei lapangan meliputi karakteristik geometrik pada setiap pendekat simpang sebagai dasar analisis kinerja simpang.

Tabel 2 Data geometrik Simpang Gajah Mada

Kode Pendekat U,S,T,B	Tipe Lingkungan Jalan KM, KOM, AT	Kelas Hambatan Samping T (tinggi), R (rendah)	Median Y (ada) atau T (tidak)	Kelandaian Pendekat + (nanjak) atau - (turun) %	BKIJT Y (Ya) atau T (Tidak)	Jarak ke kendaraan parkir pertama m	Lebar Pendekat (m)			
							pada awal lajur L m	pada garis henti L_M m	pada lajur belok kiri L_{BKIJT} m	pada lajur L_K m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S	KOM	Rendah	Tidak	0	Tidak	0	4.0	4.0	0	6.3
T	KOM	Rendah	Ada	0	Tidak	0	7.6	7.6	0	6.8
B	KOM	Rendah	Ada	0	Tidak	0	7.7	7.7	0	7.0

Fase merupakan bagian dari suatu siklus yang dialokasikan untuk kombinasi pergerakan secara bersamaan mengikuti isyarat lampu lalu lintas. Dalam lokasi studi ini simpang yang ditinjau memiliki 3 (tiga) simpang dengan 3 (tiga) fase lampu lalu lintas pada setiap bagian simpang.



Gambar 3 Sketsa Simpang Tiga Gajah Mada

Tabel 3 Konfigurasi waktu sinyal Simpang Gajah Mada

Pendekat	Nama Jalan	Waktu Sinyal				Waktu Siklus
		All Red	Merah	Kuning	Hijau	
S	Jl. Gajah Mada	1	70	3	30	104
T	Jl. Raya Lengkong	1	70	3	30	
B	Jl. Raya Gemekan	1	68	3	32	

Konfigurasi waktu sinyal kondisi eksisting memperlihatkan pengaturan 3 fase dengan waktu siklus sebesar 104 detik. Pengaturan fase dilakukan secara bergantian untuk melayani arus lalu linats pada masing-masing pendekat.

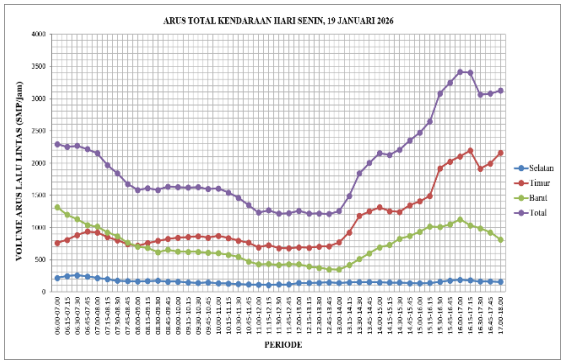
Kondisi Eksisting Simpang Gajah Mada

Survei volume lalu lintas dilakukan selama 3 (tiga) hari survei dari jam 06.00 – 17.00 WIB untuk mengetahui volume kendaraan di lokasi penelitian. Data pada periode jam puncak digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja simpang.

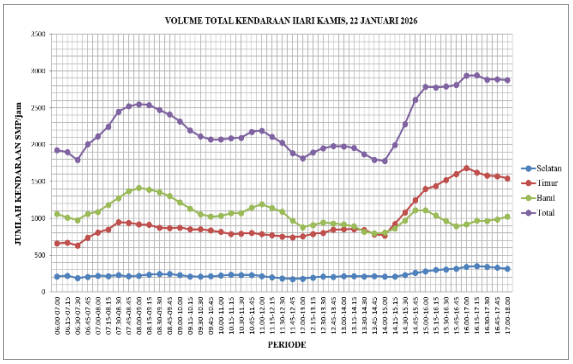
Tabel 4 Volume lalu lintas Simpang Gajah Mada

Hari/Tanggal	Periode	Waktu (WIB)	Volume (SMP/jam)
Senin, 19 Januari 2026	Pagi	06.00 - 07.00	2293,35
	Siang	14.45 - 15.45	2348,20
	Sore	16.00 – 17.00	3417,25
Kamis, 22 Januari 2026	Pagi	08.00 – 09.00	2548,25
	Siang	14.45 – 15.45	2611,00
	Sore	16.15 – 17.15	2941,00
Sabtu, 26 Januari 2026	Pagi	07.00 – 08.00	2246,90
	Siang	14.45 – 15.45	2735,70
	Sore	17.00 – 18.00	3226,60

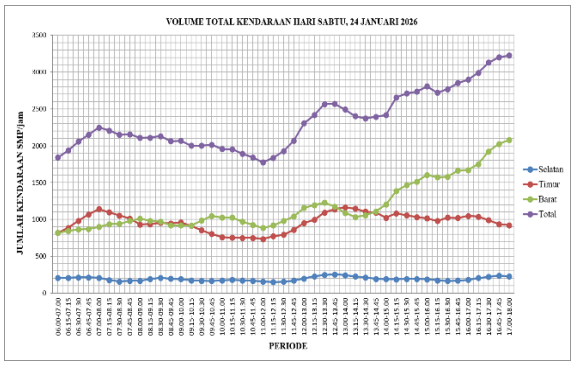
Berdasarkan Tabel 3, volume lalu lintas pada lokasi penelitian menunjukkan fluktuasi pada setiap periode pengamatan. Kondisi tersebut menggambarkan perbedaan intensitas arus kendaraan yang dipengaruhi oleh aktivitas di sekitar simpang.



Gambar 4 Grafik total volume kendaraan Hari Senin, 19 Januari 2026



Gambar 5 Grafik total volume kendaraan Hari Kamis, 22 Januari 2026



Gambar 6 Grafik total volume kendaraan Hari Sabtu, 24 Januari 2026

Evaluasi Kinerja Simpang berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan PKJI 2023 untuk mengetahui kondisi operasional simpang berdasarkan parameter derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan, tingkat pelayanan simpang.

Tabel 5 Tingkat pelayanan Simpang Gajah Mada Hari Senin, 19 Januari 2026

Periode	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau per fase (i)	Tundaan Rata-Rata TL + TG = T	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	S	255.95	770.42	0.33	28.91	30	36.23	42.79	E
	T	935.80	1233.99	0.76	67.21	30	37.26		
	B	1315.85	1348.86	0.98	108.87	32	48.00		
SIANG	S	154.10	753.21	0.20	16.71	30	34.65	52.57	E
	T	1345.60	1243.72	1.08	126.76	30	65.70		
	B	868.10	1362.42	0.64	57.07	32	35.39		
SORE	S	187.70	760.01	0.25	20.63	30	35.18	124.65	F
	T	2156.60	1240.07	1.74	340.05	30	175.81		
	B	1125.80	1354.88	0.83	82.79	32	41.57		

Tabel 6 Tingkat pelayanan Simpang Gajah Mada Hari Kamis, 22 Januari 2026

Periode	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau per fase (i)	Tundaan Rata-Rata TL + TG = T	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	S	244.20	758.79	0.32	27.49	30	35.90	43.87	E
	T	947.55	1234.00	0.77	68.44	30	40.24		
	B	1272.50	1356.19	0.94	101.71	32	48.11		
SIANG	S	257.90	753.70	0.34	29.22	30	36.01	48.23	E
	T	1244.65	1227.20	1.01	109.60	30	57.43		
	B	1108.45	1364.45	0.81	80.48	32	40.74		
SORE	S	351.25	754.82	0.47	41.46	30	37.34	77.07	F
	T	1682.30	1236.08	1.36	204.79	30	109.46		
	B	1107.90	1374.35	0.81	80.09	32	40.48		

Tabel 7 Tingkat pelayanan Simpang Gajah Mada Hari Sabtu, 26 Januari 2026

Periode	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau per fase (i)	Tundaan Rata-Rata TL + TG = T	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	S	212.05	791.63	0.27	23.46	30	35.99	42.33	E
	T	1048.00	1233.04	0.85	79.85	30	43.85		
	B	1141.85	1354.98	0.84	84.65	32	42.13		
SIANG	S	254.05	771.88	0.33	28.66	30	36.23	64.82	F
	T	1512.15	1238.01	1.22	163.42	30	86.54		
	B	1164.20	1358.14	0.86	87.19	32	42.85		
SORE	S	238.35	750.02	0.32	26.79	30	35.69	114.99	F
	T	2078.55	1246.59	1.67	312.75	30	162.35		
	B	1048.30	1361.25	0.77	74.13	32	39.12		

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal. Hal ini ditunjukkan oleh tingginya nilai Derajat Kejenuhan (D_J), Panjang Antrian (P_A), dan Tundaan (T) yang menyebabkan tingkat pelayanan simpang berada pada kondisi Sangat Buruk.

Hasil Analisis Menggunakan Sidra Intersection 8.0

Sebagai pembanding hasil analisis PKJI 2023, dilakukan analisis kinerja simpang menggunakan perangkat lunak Sidra Intersection 8.0. Hasil analisis digunakan untuk membandingkan parameter kinerja simpang.

Tabel 8 Hasil perbadingan PKJI 2023 dan Sidra Intersection 8.0

Pendekat	Panjang Antrian (m)		Tundaan (detik)			
	PKJI	Sidra	PKJI	Tingkat Pelayanan	Sidra	Tingkat Pelayanan
Selatan	28,91	35	36,23	D	25	C
Timur	67,21	536	37,26	D	113,9	F
Barat	108,87	944	48	E	228,7	F

Berdasarkan hasil analisis, terdapat perbedaan nilai parameter kinerja simpang antara PKJI 2023 dan Sidra Intersection 8.0. Meskipun demikian, kedua metode menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal.

Evaluasi Alternatif Perbaikan Simpang

Alternatif perbaikan simpang dilakukan berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting melalui optimalisasi APILL pada 3 fase dan perubahan waktu siklus dan fase pada APILL. Kedua alternatif tersebut dievaluasi untuk memperoleh kondisi operasional simpang yang lebih baik.

1. Optimalisasi APILL pada 3 fase

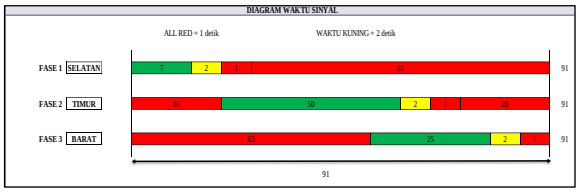
   Pada alternatif ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja simpang agar arus lalu lintas dapat berjalan lebih efektif dan efisien. Pada kondisi eksisting, simpang menggunakan pengaturan APILL dengan 3 fase. Namun, berdasarkan hasil analisis kinerja simpang masih mengalami tundaan dan panjang antrian yang relatif tinggi, sehingga diperlukan pengoptimalan APILL.

   Penentuan waktu siklus menggunakan persamaan sebagai berikut :

   $$s = \frac{(1{,}5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J\ kritis})}$$
   $$= \frac{(1{,}5 \times 9 + 5)}{(1 - 0{,}831)}$$
   $$= 109{,}62 \text{ detik}$$

   Hasil dari perhitungan di atas adalah nilai waktu siklus pra-penyesuaian, yang mana waktu ini digunakan untuk menentukan waktu hijau. Berikut adalah contoh perhitungan waktu siklus pada Pendekat Timur :

   $$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times R_F$$
   $$= (109{,}62 - 9) \times 0{,}875$$
   $$= 50 \text{ detik}$$



Gambar 7 Diagram waktu sinyal optimalisasi APILL 3 fase

Tabel 9 Hasil analisis optimalisasi APILL pada 3 fase

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (P_A)	Derajat Kejenuhan (D_j)	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
S	187.7	203.48	7	91	38.38	0.92	36.85	D
T	2156.6	2337.87	50		138.90	0.92		
B	1125.8	1220.43	25		79.51	0.92		

Berdasarkan hasil analisis alternatif perbaikan simpang melalui optimalisasi APILL 3 fase, diperoleh waktu siklus sebesar 91 detik dengan tundaan rata-rata 36,85 detik/SMP, dan tingkat pelayanan D. Meskipun terjadi peningkatan kinerja dibandingkan kondisi eksisting, hasil tersebut belum memenuhi syarat Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015 untuk jalan kolektor primer yaitu sekurang-kurangnya B. Oleh karena itu, diperlukan alternatif perbaikan simpang yang lain untuk memperoleh tingkat pelayanan yang sesuai dengan syarat tersebut.

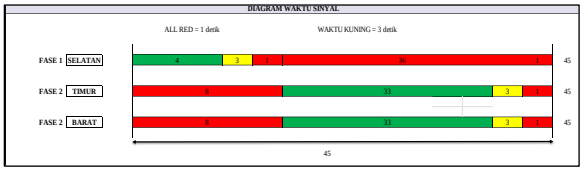
2. Perubahan waktu siklus dan fase pada APILL
   Pada tahap ini yang dilakukan adalah meningkatkan kinerja simpang dengan merubah waktu siklus dan fase. Kondisi eksisting simpang menggunakan 3 (tiga) fase, kemudian dioptimasi menjadi 2 (dua) fase yang dimana menggabungkan Pendekat Timur dan Barat menjadi 1 (satu) fase. Penyebab dari perubahan fase tersebut adalah timbulanya gerakan yang saling berlawanan *(opossite)* pada pendekat yang memperoleh waktu hijau secara bersamaan. Oleh karena itu, dilakukan analisis terhadap gerakan terlawan untuk mengetahui pengaruh arus lalu lintas dari arah berlawanan terhadap kapasitas pendekat.
   Berikut adalah contoh perhitungan interpolasi yang dilakukan untuk menghasilkan nilai Arus Jenuh Dasar (J_0) pada Pendekat Timur dan Pendekat Barat.
   - Pendekat Timur
     Dimana :
     X : Lebar efektif lapangan = 7,6 m
     X1 : Lebar efektif dari grafik = 8 m
     X2 : Lebar efektif dari grafik = 7 m
     Y1 : Nilai J_0 dari grafik 7 m = 3629 SMP/jam
     Y2 : Nilai J_0 dari grafik 8 m = 4590 SMP/jam
     $Y = (X - X_1) \times (Y_2 - Y_1) + Y_1$
     $Y = (7{,}6 - 7) \times (4590 - 3629) + 3629$
     $Y = 0{,}6 \times 961 + 3629$
     Y = 4205,6 SMP/jam
   - Pendekat Barat
     Dimana :
     X : Lebar efektif lapangan = 7,7 m
     X1 : Lebar efektif dari grafik = 8 m
     X2 : Lebar efektif dari grafik = 7 m
     Y1 : Nilai J_0 dari grafik 7 m = 3629 SMP/jam
     Y2 : Nilai J_0 dari grafik 8 m = 4590 SMP/jam
     $Y = (X - X_1) \times (Y_2 - Y_1) + Y_1$
     $Y = (7{,}7 - 8) \times (4590 - 3629) + 3629$
     $Y = -0{,}3 \times 961 + 3629$
     Y = 3340,7 SMP/jam

   Berdasarkan hasil interpolasi tersebut, diperoleh nilai arus jenuh dasar yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan kapasitas dan derajat.
   Penentuan waktu siklus menggunakan persamaan sebagai berikut :

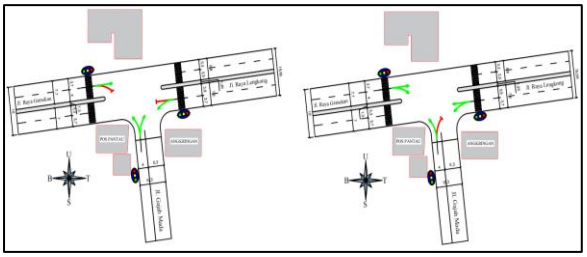
$$s = \frac{(1{,}5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J\,kritis})}$$
$$= \frac{(1{,}5 \times 8 + 5)}{(1 - 0{,}621)}$$
$$= 45 \text{ detik}$$

Nilai waktu siklus pra-penyesuaian digunakan untuk menentukan waktu hijau. Berikut adalah contoh perhitungan waktu siklus pada Pendekat Timur :

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times R_F$$
$$= (45 - 8) \times 0{,}884$$
$$= 33 \text{ detik}$$



Gambar 8 Diagram waktu sinyal 2 fase



Gambar 9 Fase sinyal lampu isyarat lau lintas 2 fase

Gambar di atas menunjukkan pengaturan pergerakan lalu lintas pada alternatif perbaikan simpang menggunakan 2 fase. Pengaturan fase dilakukan dengan memberikan waktu hijau secara bersamaan kepada arus lalu lintas yang bergerak pada pendekat yang terlah digabungkan, sedangkan arus dari pendekat lainnya dihentikan. Perubahan fase tersebut bertujuan untuk mengurangi waktu yang hilang akiabt pergantian fase dan meningkatkan efisiensi waktu siklus.

Tabel 10 Hasil analisis perubahan waktu siklus dan fase pada APILL

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (P_A)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
S	187.7	248.37	4	45	15.89	0.76	8.29	B
T	2156.6	2853.64	33		45.29	0.76		
B	1125.8	2336.18	33		15.36	0.48		

Berdasarkan hasil analisis, optimalisasi APILL 3 fase belu mampu menghasilkan kinerja simpang yang optimal. Perubahan waktu siklus dan fase pada APILL menghasilkan penurunan derajat kejenuhan, panjang antrian, dan tundaan sehingga tingkat pelayanan simpang menjadi lebih baik dibandingkan kondisi eksisting maupun optimalisasi APILL 3 fase.

Prediksi Kinerja Simpang Gajah Mada 5 Tahun Mendatang

Analisis prediksi kinerja simpang dilakukan untuk mengetahui kondisi operasional simpang pada 5 (lima) tahun mendatang dengan memproyeksikan volume lalu lintas menggunakan faktor laju pertumbuhan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024 sebesar 4,8% per tahun dengan persamaan 1.

$$P_n = P_0(1+i)^n$$

Dimana :

P_n : Jumlah kendaraan pada tahun ke-n
P_0 : Jumlah kendaraan pada tahun awal
r : Tingkat pertumbuhan kendaraan
n : Waktu (tahun)

Tabel 11 Volume lalu lintas masa eksisting (2026)

2026					
Pendekat	**Arah**	**SM**	**MP**	**KS**	**Total**
		SMP/jam	SMP/jam	SMP/jam	SMP/jam
S	BKa	40	66	31	137
	BKi/BKJT	19	20	12	51
	Total	**59**	**86**	**43**	**188**
T	Lurus	317	740	883	1940
	BKi/BKJT	89	118	9	217
	Total	**407**	**858**	**892**	**2157**
B	Lurus	169	741	155	1065
	BKa	13	36	12	61
	Total	**182**	**777**	**166**	**1126**

Tabel 12 Volume lalu lintas 5 tahun mendatang (2031)

2031					
Pendekat	**Arah**	**SM**	**MP**	**KS**	**Total**
		SMP/jam	SMP/jam	SMP/jam	SMP/jam
S	BKa	50	83	39	173
	BKi/BKJT	24	25	15	64
	Total	**74**	**109**	**54**	**237**
T	Lurus	401	935	1116	2453
	BKi/BKJT	113	149	12	274
	Total	**514**	**1085**	**1127**	**2726**
B	Lurus	214	937	196	1346
	BKa	17	46	15	77
	Total	**231**	**982**	**210**	**1423**

Tabel 13 Hasil analisis pertumbuhan lalu lintas 5 tahun mendatang (2031)

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (P_A)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
S	237.3	169.78	4	66	97.26	1.40	62.40	F
T	2726.3	2115.09	33		213.53	1.29		
B	1423.2	1408.28	21		78.79	1.01		

Analisis Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dilakukan berdasarkan metode (Pd T-15-2005-B, dalam Sinambela, 2021) dengan memperhitungkan Konsumsi Bahan Bakar Minyak (KBBM), dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM). KBBM menunjukkan besarnya konsumsi bahan bakar kendaraan akibat kondisi lalu lintas dan tundaan yang terjadi, sedangkan BiBBM merupakan biaya yang dikeluarkan berdasarkan konsumsi bahan bakar tersebut. Perhitungan KBBM dan BiBBM dihitung menggunakan persamaan 2, dan 3.

$$F = 140 \times 10^{-2} \times Q_i \times T$$

Dimana :

F : Konsumsi bahan bakar minyak (liter/jam)
140×10^{-2} : Konstanta saat kendaraan dalam keadan *idle*
Q_i : Jumlah kendaraan jenis I (SMP/jam)
T : Tundaan (jam)

$$BiBBM_i = F_i \times HBBM_j$$

Dimana :

$BiBBM_i$: Biaya KBBM jenis kendaraan i (Rp/jam)
F_i : KBBM jenis kendaraan i (liter/jam)
$HBBM_j$: Harga bahan bakar jenis BBM_j (Rp/l)

Hasil perhitungan BOK disajikan pada tabel berikut.

Tabel 14 Rekapitulasi BOK Hari Senin, 19 Januari 2026

HARI SENIN, 19 JANUARI 2026											
No.	Periode	Tundaan	Sepeda Motor (SM)			Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)		
			KBBM		BiBBM	KBBM		BiBBM	KBBM		BiBBM
			liter/jam		Rp/jam	liter/jam		Rp/jam	liter/jam		Rp/jam
1	06.00-07.00	0.012441	15.2599	Rp	170,147.54	18.7058	Rp	181,446.40	5.9775	Rp	57,085.13
2	07.00-08.00	0.010883	11.0181	Rp	122,852.29	16.2572	Rp	157,694.36	5.4074	Rp	51,640.37
3	08.00-09.00	0.009597	6.7777	Rp	75,570.94	9.9156	Rp	96,181.14	4.5762	Rp	43,702.86
4	09.00-10.00	0.009856	5.6670	Rp	63,186.51	10.4591	Rp	101,453.20	6.2962	Rp	60,128.26
5	10.00-11.00	0.009959	5.2912	Rp	58,997.36	10.5825	Rp	102,650.11	6.4164	Rp	61,276.78
6	11.00-12.00	0.009257	3.9678	Rp	44,240.53	6.0524	Rp	58,708.34	5.9474	Rp	56,797.94
7	12.00-13.00	0.009195	3.5473	Rp	39,552.49	6.3724	Rp	61,812.39	6.2926	Rp	60,094.28
8	13.00-14.00	0.009528	3.3813	Rp	37,701.81	6.5092	Rp	63,139.48	6.8667	Rp	65,576.97
9	14.00-15.00	0.014666	7.0006	Rp	78,056.74	20.2452	Rp	196,378.31	16.9497	Rp	161,869.61
10	15.00-16.00	0.016451	10.3502	Rp	115,404.72	31.1381	Rp	302,039.72	15.4792	Rp	147,826.71
11	16.00-17.00	0.034542	30.4729	Rp	339,773.14	95.0722	Rp	922,200.77	47.5893	Rp	454,477.97
12	17.00-18.00	0.038054	33.2283	Rp	370,495.46	79.1150	Rp	767,415.32	54.0912	Rp	516,571.02
Total			**135.9623**	**Rp**	**1,515,979.54**	**310.4247**	**Rp**	**3,011,119.54**	**181.8898**	**Rp**	**1,737,047.90**

Tabel 15 Rekapitulasi BOK Hari Kamis, 22 Januari 2026

HARI KAMIS, 22 JANUARI 2026											
No.	Periode	Tundaan	Sepeda Motor (SM)			Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)		
			KBBM		BiBBM	KBBM		BiBBM	KBBM		BiBBM
			liter/jam		Rp/jam	liter/jam		Rp/jam	liter/jam		Rp/jam
1	06.00-07.00	0.010441	8.3756	Rp	93,387.78	15.8741	Rp	153,979.23	3.8955	Rp	37,201.56
2	07.00-08.00	0.010771	7.2876	Rp	81,256.96	16.7225	Rp	162,207.98	7.8410	Rp	74,881.69
3	08.00-09.00	0.014095	15.1757	Rp	169,208.84	29.6193	Rp	287,306.88	5.4897	Rp	52,426.89
4	09.00-10.00	0.011712	12.6128	Rp	140,632.58	20.8409	Rp	202,157.14	4.5404	Rp	43,360.88
5	10.00-11.00	0.010620	9.6520	Rp	107,619.79	16.6070	Rp	161,088.18	4.5420	Rp	43,376.39
6	11.00-12.00	0.011464	9.9692	Rp	111,156.57	20.7682	Rp	201,451.18	4.4233	Rp	42,242.19
7	12.00-13.00	0.010040	7.0860	Rp	79,008.71	14.6737	Rp	142,335.28	3.7457	Rp	35,771.81
8	13.00-14.00	0.010345	6.3498	Rp	70,800.11	17.7988	Rp	172,648.43	4.4808	Rp	42,792.01
9	14.00-15.00	0.009917	4.9106	Rp	54,752.70	16.2575	Rp	157,697.28	3.5555	Rp	33,955.38
10	15.00-16.00	0.016265	9.7585	Rp	108,807.00	39.8036	Rp	386,094.50	13.8242	Rp	132,021.32
11	16.00-17.00	0.022490	13.0397	Rp	145,392.53	51.3842	Rp	498,426.87	28.1196	Rp	268,542.50
12	17.00-18.00	0.019181	14.9963	Rp	167,208.39	43.4488	Rp	421,453.01	18.8511	Rp	180,027.72
Total			**119.2136**	**Rp**	**1,329,231.97**	**303.7986**	**Rp**	**2,946,845.96**	**103.3089**	**Rp**	**986,600.33**

Tabel 16 Rekapitulasi BOK Hari Sabtu, 24 Januari 2026

HARI SABTU, 24 JANUARI 2026									
No.	Periode	Sepeda Motor (SM)			Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)	
		Tundaan	KBBM	BiBBM	KBBM	BiBBM	KBBM	BiBBM
			liter/jam	Rp/jam	liter/jam	Rp/jam	liter/jam	Rp/jam
1	06.00-07.00	0.010003	8.0955	Rp 90,265.16	13.9617	Rp 135,428.23	3.6956	Rp 35,292.72
2	07.00-08.00	0.011273	11.0219	Rp 122,894.30	20.4372	Rp 198,241.30	4.0007	Rp 38,206.21
3	08.00-09.00	0.011061	7.7369	Rp 86,266.89	21.0747	Rp 204,424.64	3.8247	Rp 36,526.13
4	09.00-10.00	0.010680	8.4049	Rp 93,715.00	17.4416	Rp 169,183.43	5.0830	Rp 48,542.23
5	10.00-11.00	0.010899	5.8775	Rp 65,533.86	20.2935	Rp 196,846.62	3.6894	Rp 35,234.19
6	11.00-12.00	0.010172	5.2483	Rp 58,518.59	16.5046	Rp 160,094.99	3.5174	Rp 33,591.00
7	12.00-13.00	0.012273	7.9896	Rp 89,083.98	27.1131	Rp 262,996.83	4.5120	Rp 43,089.34
8	13.00-14.00	0.012354	8.5821	Rp 95,690.33	29.8696	Rp 289,734.70	4.6767	Rp 44,662.86
9	14.00-15.00	0.012981	8.7806	Rp 97,903.28	30.8224	Rp 298,977.15	4.2999	Rp 41,063.74
10	15.00-16.00	0.020871	17.1195	Rp 190,882.01	57.2694	Rp 555,513.26	7.5970	Rp 72,550.99
11	16.00-17.00	0.022419	25.4328	Rp 283,576.03	56.8417	Rp 551,364.74	8.6910	Rp 82,999.43
12	17.00-18.00	0.033841	46.7477	Rp 521,236.54	91.7708	Rp 890,176.68	14.3507	Rp 137,049.52
Total		**161.0373**	**Rp 1,795,565.97**		**403.4003**	**Rp 3,912,982.57**	**67.9380**	**Rp 648,808.36**

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai KBBM dan BiBBM pada ketiga hari survei menunjukkan perbedaan pada setiap jenis kendaraan. Besarnya biaya konsumsi bahan bakar minyak dipengaruhi oleh volume lalu lintas dan tundaan yang terjadi pada simpang. Secara keseluruhan, kendaraan mobil penumpang menghasilkan BiBBM terbesar. Hasil tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar.

Hubungan Tundaan dengan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Analisis dilakukan untuk mengkaji keterkaitan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak, serta memperoleh model regresi yang digunakan dalam prediksi biaya konsumsi bahan bakar minyak pada kondisi alternatif perbaikan simpang.

Pengujian hubungan tersebut menggunakan taraf signifikansi 5% dengan nilai $\mathbf{F_{tabel} = 4{,}964}$ dan $\mathbf{t_{tabel} = 2{,}228}$. Hasil analisis disajikan pada tabel berikut.

Tabel 17 Rekapitulasi hasil analisis hubungan tundaan dengan BiBBM

Hari/Tanggal	Jenis Kendaraan	Persamaan Regresi	r	R^2	F_{hitung}	t_{hitung}	Kesimpulan
Senin, 19 Januari 2026	Sepeda Motor	Y = -40448,32 + 10851662,07 X	0.959	0.919	114.587	10.705	H0 DITOLAK
	Mobil Penumpang	Y = -179914,36 + 28032990 X	0.980	0.960	240.786	15.517	
	Kendaraan Sedang	Y = -104191,39 + 16197817,3 X	0.994	0.987	776.101	27.859	
Kamis, 22 Januari 2026	Sepeda Motor	Y = 27344,06 + 6362728,5 X	0.6952	0.483	9.353	3.058	H0 DITOLAK
	Mobil Penumpang	Y = -141560,32 + 29525925,9 X	0.9886	0.977	429.739	20.730	
	Kendaraan Sedang	Y = -144812,47 + 17315196,9 X	0.9622	0.925	124.921	11.177	
Sabtu, 24 Januari 2026	Sepeda Motor	Y = -117379,91 + 17917603,4 X	0.977	0.954	210.345	14.503	H0 DITOLAK
	Mobil Penumpang	Y = -136626,74 + 31049837,6 X	0.9924	0.984	646.368	25.424	
	Kendaraan Sedang	Y = -7750,55 + 4148261,3 X	0.9878	0.975	403.422	20.085	

Keterangan :

Y : Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM)
X : Tundaan (jam)

Prediksi Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Analisis prediksi BiBBM digunakan untuk mengetahui besarnya biaya konsumsi bahan bakar minyak setelah penerapan alternatif perbaikan simpang sebagai dasar evaluasi perubahan biaya akibat perbaikan kinerja simpang.

Prediksi tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi yang diperoleh dari hubungan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak. Perhitungan prediksi BiBBM dihitung menggunakan persamaan 4.

$$Y = a + bX$$

Dimana :

Y : Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM)
a : Konstanta
b : Koefisien regresi
X : Tundaan (jam)

Sebagai contoh, perhitungan model persamaan regresi untuk Sepeda Motor (SM) pada Hari Senin, 19 Januari 2026 dihitung sebagai berikut.

$$Y = -40448{,}32 + 10851662{,}1\ X$$

Dengan tundaan total (X) = 254,58 detik atau sama dengan 0,0707 jam :

$$Y = -40448{,}32 + 10851662{,}1\ (0{,}0707)$$
$$= 726{,}958.31$$

Tabel 18 Rekapitulasi hasil prediksi BiBBM

Hari/Tanggal	Jenis Kendaraan	**Tundaan Total** (jam) **X**	**BiBBM** (Rp/jam) **Y**
Senin, 19 Januari 2026	Sepeda Motor	0.070718	Rp 726,958.31
	Mobil Penumpang		Rp 1,802,519.54
	Kendaraan Sedang		Rp 1,041,284.05
Kamis, 22 Januari 2026	Sepeda Motor	0.110593	Rp 731,014.41
	Mobil Penumpang		Rp 3,123,787.00
	Kendaraan Sedang		Rp 1,770,119.24
Sabtu, 24 Januari 2026	Sepeda Motor	0.076847	Rp 1,259,539.59
	Mobil Penumpang		Rp 2,249,469.53
	Kendaraan Sedang		Rp 311,032.14

Hasil prediksi menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai BiBBM pada ke-3 (tiga) hari survei dan jenis kendaraan. Perbedaan tersebut mengikuti perubahan nilai tundaan setelah diterapkannya alternatif perbaikan simpang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pada penelitian di Simpang Gajah Mada, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja eksisting Simpang Gajah menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal, dengan arus tertinggi sebesar 3417,27 SMP/jam pada Senin, 19 Januari 2026 pukul 16.00-17.00 WIB. Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, didapatkan tundaan rata-rata simpang sebesar 124,65 detik/SMP dengan tingkat pelayanan F, sedangkan hasil analisis Sidra Intersection 8.0 menghasilkan tundaan rata-rata sebesar 165,1 detik/SMP dengan tingkat pelayanan F.
2. Perubahan waktu siklus dan 2 fase APILL dipilih sebagai alternatif perbaikan simpang terbaik, yang menghasilkan derajat kejenuhan sebesar 0,76 pada Pendekat Selatan dan Timur, dan 0,48 pada Pendekat Barat, dengan waktu siklus 45 detik dan tundaan rata-rata simpang sebesar 8,29 detik/SMP serta tingkat pelayanan B,

sehingga mampu meningkatkan kinerja simpang pada Simpang Gajah Mada.

3. Hasil analisis regresi linear sederhana menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak untuk sepeda motor, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi r = 0,959. Berdasarkan hasil pengujian regresi, pengaruh tersebut terbukti signifikan sehingga persamaan regresi yang dihasilkan dapat untuk memprediksi biaya konsumsi bahan bakar minyak.
4. Peningkatan volume lalu lintas pada 5 tahun mendatang menyebabkan penurunan kinerja Simpang Gajah Mada dibandingkan kondisi eksisting, dengan derajat kejenuhan mencapai 1,40 pada Pendekat Selatan, 1,29 pada Pendekat Timur, dan 1,01 pada Pendekat Barat. Kondisi tersebut menghasilkan tundaan rata-rata simpang sebesar 62,40 detik/SMP dengan tingkat pelayanan F, sehingga pertumbuhan volume lalu lintas berpotensi semakin menurunkan kinerja smpang dalam 5 tahun mendatang.

Saran

Adapun saran yang diberikan dari hasil studi sebagai berikut :

1. Altenatif perbaikan berupa perubahan waktu siklus dan 2 fase APILL dapat dipertimbangkan sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja Simpang Gajah Mada. Evaluasi terhadap pengaturan waktu sinyal dan kienrja simpang perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga tingkat pelayanan simpang.
2. Pengelolaan dan pengawasan lalu lintas di sekitar simpang perlu ditingkatkan, khususnya terhadap kendaraan yang berhenti pada area yang dapat mengganggu pergerakan lalu lintas.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan alternatif perbaikan yang lebih beragam, meningkatkan pemahaman dalam pengolahan data menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Sidra Intersection 8.0, serta mengembangkan kajian Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dengan mempertimbangkan komponen biaya lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Akcelik, R. (1998). *Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis*.

Badan Pusat Statistik. (2025). Badan Pusat Statistik. *Kabupaten Mojokerto Dalam Angka 2025.*, *Vol. 44*, 78.

Bina Marga, D. J. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. In *Panduan Kapasitas Jalan Indonesia*.

Departemen Bina Marga. (2005). *Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan. Bagian I : Biaya Tidak Tetap (Running Cost)*.

Manual Desain Perkerasan Jalan. (2024). *Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga*.

Dr. Rahmi Akcelik. (n.d.). *Akcelik & Associates (*2021*)*.

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2015). PM No 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. In *Jakarta*.

PUPR. (2004). *Pedoman Survai Pencacahan Lalu Lintas Dengan Cara Manual* (pp. 1–36).

Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 tahun. (2004). UU Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. In *Database Peraturan* (Issue 82).

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. *Pemerintah Republik Indonesia*, *134229*, 77.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009*. 203.